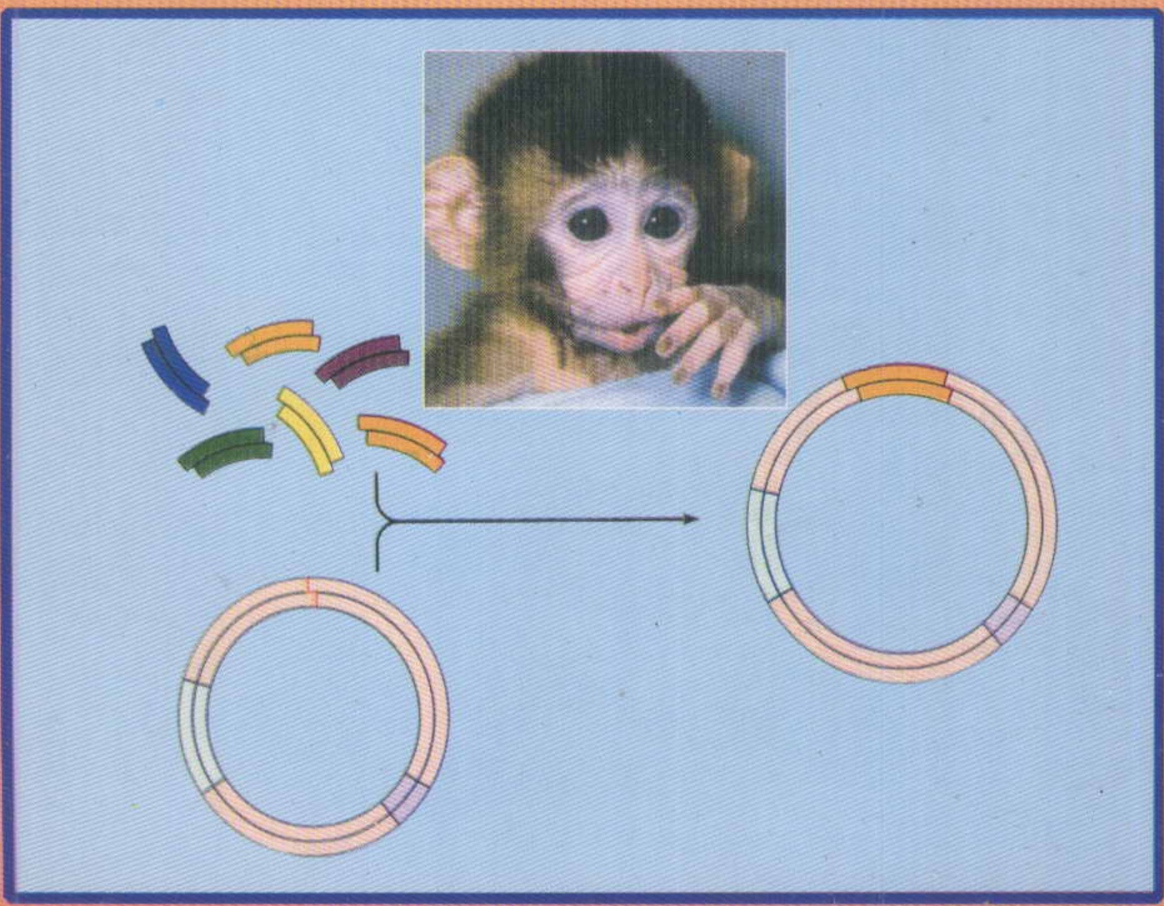
٣٧ ماذا تعلم عن ..

الهندسة الوراثية في عالم الحيوان

بقلم

الدكتور منير على الجنزورى



دار المعارف

ماذا تعلم عن..
٢٧
موسوعة للأطفال تغطى مجالات المعرفة
البشرية المختلفة بأسلوب شائق

الهندسة الوراثية في عالم الحيوان

بقلم
الدكتور منير على الجنزورى
الرئيس الأسبق لقسم علم الحيوان
كلية العلوم جامعة عين شمس

الطبعة الثانية

دار المعارف

بطاقة الفهرسة
اعداد الهيئة المصرية العامة لدار الكتب والوثائق القومية
ادارة الشئون الفنية

الجنزورى . منير على
الهندسة الوراثية فى عالم الحيوان/ بقلم منير على الجنزورى
– ط ٠٢ – القاهرة : دار المعارف ،٢٠٠٦.
١٦ ص ، ٢٨ سم – (ماذا تعلم عن موسوعة الاطفال تغطى
مجالات المعرفة البشرية المختلفة باسلوب شائق ؛ ٢٧)
تدمك : ٤ – ٧٠٦٤ – ٠٢ – ٩٧٧
١ – الهندسة الوراثية.
٢ – الحيوان . علم

ديوى ٥٧٥،١٠٧٢٤

رقم الإيداع ٢٤٧٩٩/ ٢٠٠٦ ٧/٢٠٠٦/٨٨

تصميم الغلاف
منال بدران

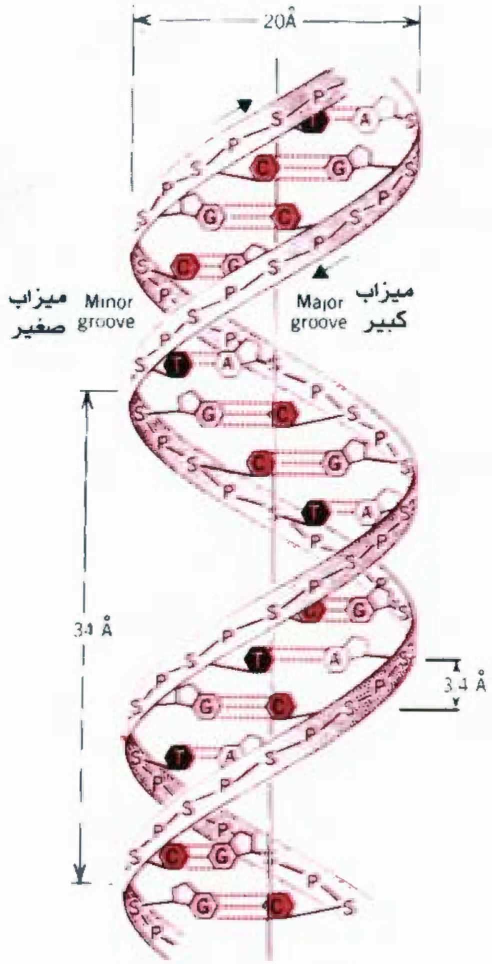
تنفيذ المتن والغلاف
بقطاع نظم وتكنولوجيا المعلومات
دار المعارف

الناشر : دار المعارف – ١١١٩ كورنيش النيل – القاهرة – ج . م . ع
هاتف : ٥٧٧٧٠٣٧ – فاكس : ٥٧٤٤٩٩٩ E-mail: maaref@idsc.net.eg

إعداد الماكيت: أمانى والى

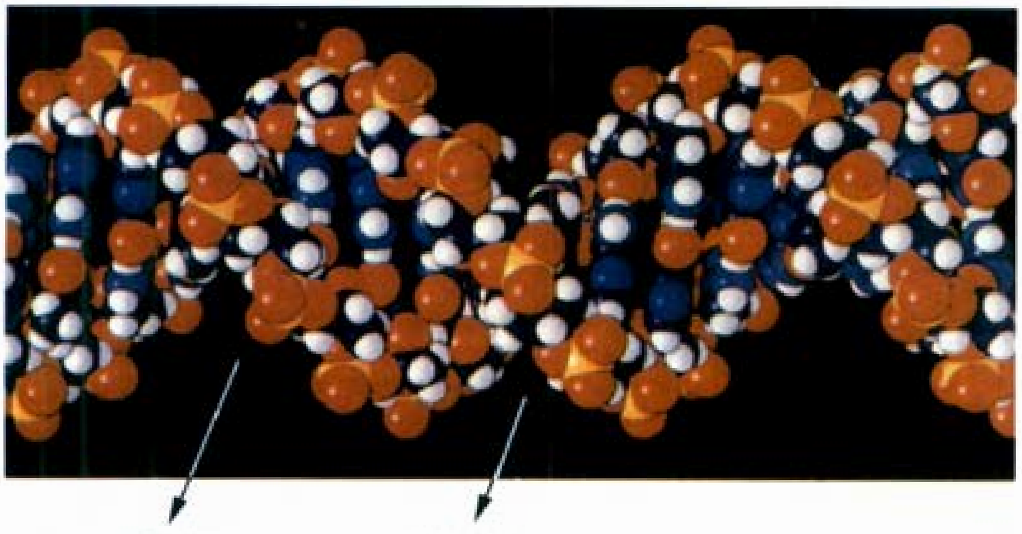
ما هو الجينُ؟

الجينُ هُو جزءٌ معينٌ مِنْ جُزىء مادةِ الوراثةِ المعروفةِ باسْم (DNA) أو (الدنَا)، وهو يتحكمُ فِي إظْهار صفةٍ معينةٍ مِنْ صفَاتِ الكائنِ الحـى. ويوضـح (شـكلى ١ ، ٢) تركيبَ جُزىء (الدنا). ويقدرُ العلماءُ أنَّ الصفـاتِ البشريَّة يتحكَّمُ فيهَا حـوالى ٣٨ ألفَ جينٍ.



(شكل ١): جزىء (DNA) يتكون من شريطين يلتفان حول بعضهما ويرتبطان بروابط عرضيـة تربـط بين القواعد النيتروجينية، بينما جانبى الجزىء يتكونان من جزيئات السكر (S) والفوسفات (P).

وَقَدْ حَاولَ العلمـاءُ فِـى السـنواتِ الأخـيرةِ تعديـلَ صفـاتِ بعـضِ النباتـاتِ والحيوانَاتِ لمصْلحةِ الإنسَانِ وذلِكَ بإدْخالِ بعضِ الجينَاتِ إليْهَا، ويتمُّ ذلِكَ عـادَةً بقصِ جزء معينٍ مِنَ المادةِ الوراثيـةِ مِنْ كـائنٍ معينٍ ولصْقِهَا فـى كـائنٍ آخـرَ يُـرَادُ تَعْدِيـل صفَاتِهِ. كذلِكَ يطمْحُ العلمَاءُ إلى التخلص مِـنَ الأمـراضِ الوراثيَّـةِ عَـنْ طريقِ العلاَجِ بالجينَاتِ. وَفِى معظَمِ هذِه الحالاتِ يستخدمُ العلماءُ إنزيمَـاتٍ معَينة لقصٍّ أو قطْعِ الجزءِ المطلـوبِ مِـنَ المـادَّةِ الوراثيّـةِ، وتعرَفُ هَذِه باسـم (إنزيمَات القصْرِ).

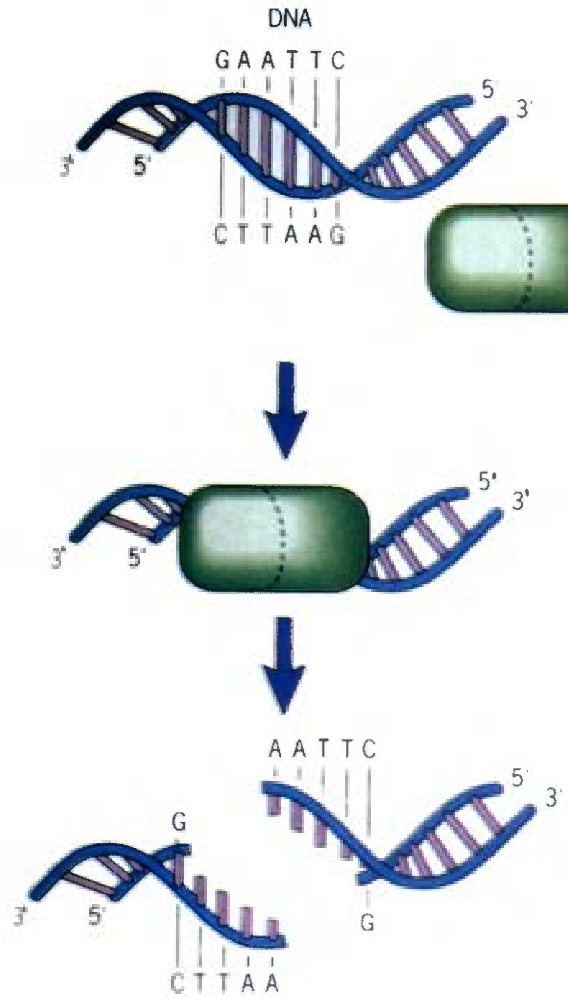


(شكل ٢) مجسم لجزىء (DNA) يوضح الجُزيئات المكونة لنيوكليوتيدات الشريطين الملتفان حول بعضهما.

كيفَ تعملُ إنزيماتُ القصْرِ؟

كانَ مِنْ أعظمِ الإنجازَاتِ التـى تم التوصل إليهَا فـى مجَالِ المادَّةِ الوراثيَّةِ هـو اكتشـافُ العـالمِ الأمريكـى (سميـث) لوجُـودِ إنزيمَـاتٍ معينـةٍ فـى البكتيريـا يمكنُها تقطيـع المـادَّةِ الوراثيَّـةِ للفيروسـاتِ التـى تهاجمُهَا، ممَّا يُـؤدِّى إلى حمَايـةِ

البكتيريا من التأثيرِ الضارِّ للفيروس. وَقَـدْ سميَّتْ هـذِهِ الإنْزيمَات باسم «إنزيمات القصْرِ» (شكل ٣).



(شكل ٣) إنزيم قصر يقطع (DNA) عند تتابعات معينة من القواعد النيتروجينية.

إنَّ كلَّ إنزيم قصْرٍ يقطْـعُ جـزيء (DNA) عنـدَ تتابُعَـات معينـة مِـنَ القواعِـدِ النيتروجينيَّةِ، فعَلَى سبيلِ المثالِ هناك إنزيمٌ يسَمَّى (Eco R1) يقطـعُ كـلَّ شَـريطٍ فِـي جزيء (DNA) عقبَ التتابع AATT، وينتجُ عنْ ذلِـكَ أنْ يـبرزَ - عنـدَ طرفِ القطـعِ -

أحدُ الشريطيْن عَن الشريطِ الآخر. وقدْ حصلَ العَالمُ (سميث) عَلى جائزةِ (نوبل) في عام ١٩٧٨ تقديرًا لاكتشافِه.

حمْضُ (DNA) معاد الاتحاد:

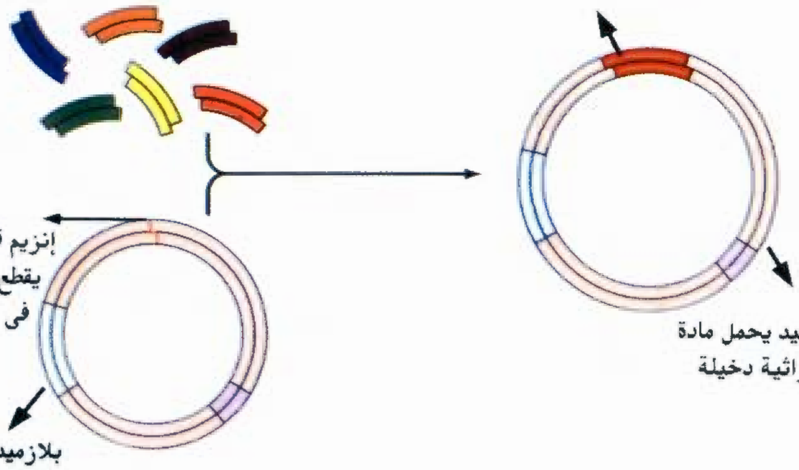
وقدْ تمَّ توْظِيف المعلومَةِ السابقةِ فى القيام بتطبيقاتٍ هامةٍ. حيثُ فكَّرَ العلماءُ فى إمكانيةِ الحصولِ على جُزيء مِنْ حِمْض (DNA) مؤلَّفُ مِنْ مصْدريْنِ مختلفيْنِ مِنَ الكائناتِ الحيَّةِ. وكانَ أوَّلُ مَنْ نجحَ فى ذلِكَ العَالمُ الأمريكى (بول برج) فى عام ١٩٧٣. ويعْتمدُ هذَا الأسْلُوبُ على قطعِ المادةِ الوراثيةِ لكائنيْن مختلفيْنِ باستخدامِ إنْزيم القصْرِ نفسِهِ، وبالتالِي سيكون الطرفانِ البارزان لشريطى DNA عند موقعى القطع متكاملين مما يسهُلُ ارتباط حِمْض (DNA) من المصدريْنِ المختلفيْنِ. ويوصَفُ (DNA) الناتجُ بأنَّه (معَاد الاتحادِ). وقد قامَ العلماءُ بنقْل العديدِ من الجيناتِ إلى بلازميدات البكتيريا باستخدام إنزيمَاتِ القصْرِ. والبلازْميدَات عبارةٌ عنْ حلقاتٍ صغيرةٍ مِنَ المادَّةِ الوراثيَّة (حمض DNA) توجَدُ فِي سيتُوبلاَزم البكتيرْيَا (شكلى ٤، ٥). وقد حصلَ العالمُ (بول برج) على جائزةِ (نوبل) فى عام ١٩٨٠ تقديرًا لإنجازِه.

نقلُ جينٍ بشرى إلى البكتيريَا:

لقد استطاعَ العلماءُ نقلَ جينٍ بشرى - هو جينُ هرمُون الإنسولين - إلى البكتيريا. ولتحقيقِ ذلك يقطعُ كلٌّ مِنْ هَذا الجين البَشرِيِّ والمادةِ الوراثيَّةِ فى بلازْميدات البكتيريا بإنزيمِ القصْرِ نفسِهِ. ويتمُّ ذلِكَ بإخْراج البلازميدات مِنَ البكتيريَا ثُمَّ معَامَلتها بإنزيم القصْرِ، ثمَّ تربطُ هَذِه البلازميدات معَ الجينِ البشرى المفْصُول بإنزيم القصْرِ نَفْسِه ثم تعادُ البلاَزْميداتُ المعدَّلَة إلى داخلِ البكتيريا مرةً أخْرَى (شكل ٦). وفِى دَاخِلِ البكتيريا سوْفَ يعملُ الجينُ البشرىُّ

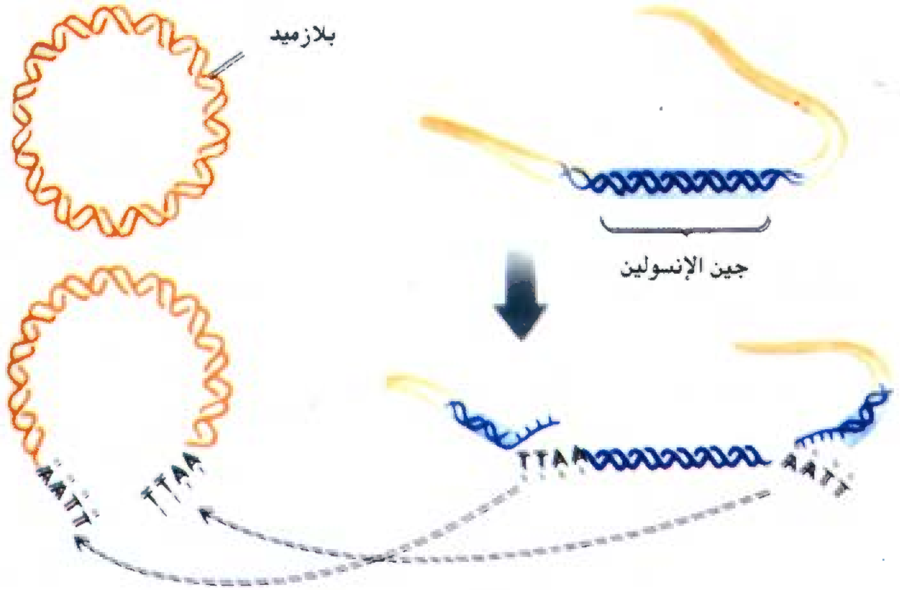


(شكل ٤): خلية بكتيرية: لاحظ وجود البلازميدات على هيئة حلقات صغيرة فى السيتوبلازم، وذلك بالإضافة إلى الجزىء الرئيسى للمادة الوراثية.

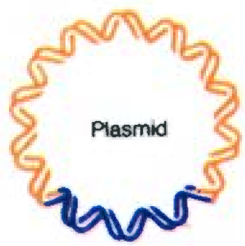


(شكل ٥) فى أعلى يسار الشكل قطع من مادة وراثية مقطعة بإنزيم قصر (EcoR1). فى أسفل يسار الرسم بلازميد سيقطع بإنزيم القصر نفسه. فى يمين الشكل تم إدخال إحدى القطع إلى البلازميد.

لينتج هرمُونَ الإنسُولين الذى يتمُّ استخْلاَصه وإعْدَاده فى المعملِ، وَذلِكَ بغرضِ أنْ يصبحَ كعقَار فى متناوَلِ المصَابينَ بمرضِ السُّكر الذيـنَ لا تنتجُ أجْسامُهم هـذَا الهرمُونَ الضرورى.



قطع جين الإنسولين والبلازميد بإنزيم القصر نفسه .



إلتحام جين الإنسولين مع البلازميد.

شكل (٦):
فى أعلى الشكل: إلى اليمين مادة وراثية تحمل جين الإنسولين وإلى اليسار يشاهد بلازميد.
فى وسط الشكل: تقطيع جين الإنسولين والبلازميد بواسطة إنزيم قصر.
فى أسفل الشكل: إدخال جين الإنسولين إلى البلازميد.

الهندسةُ الوراثيَّةُ تشغلُ بالَ العلماءِ:

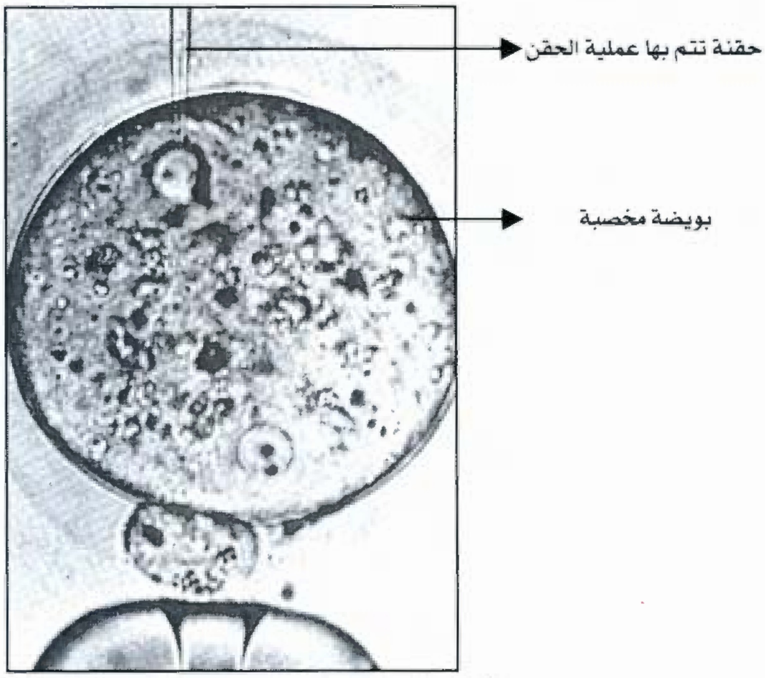
منذُ ذلِكَ الحين نشَأتْ تكنولوجيا جديدة عُرِفت باسم (الهندسةُ الوراثيةُ)، أى تعْديل جيناتِ الكائناتِ الحيَّةِ مِنْ نباتٍ وحيوانٍ بهدفِ تحقيقِ النفعِ للإنسانِ.

الحاجةُ إلى تعديلِ جيناتِ بعضِ الحيوانات:

نظرًا للزيادةِ المُطَّرِدَة فى أعدادِ البشَرِ، فإنَّ الحاجةَ إلَى توفيرِ الغذاءِ تزدادُ يومًا بعْدَ يوْمٍ، وهذَا يتطلَّبُ زيادةَ المواردِ المتاحةِ مِنَ الثروَةِ الحيوانيةِ.

جيناتٌ تضمنُ زيادةَ النمو:

لجأ العلماءُ إلى نقلِ جينَاتٍ معينةٍ إلى الحيوانَاتِ لتحقيقِ زيادةٍ فى نموِّهَا. حيثُ يتمُّ نقل الجينِ المطلوبِ إلى الخلاَيَا التناسليةِ أو إلى الزيجوتِ الناشئ عَنِ اندماج الخليَّةِ التناسليةِ الذكريَّةِ مع الخليَّةِ التناسليَّةِ الأنثويَّةِ.



(شكل ٧): حقن بويضة مخصبة بجين معين بغرض الحصول على حيوان معدل الجينات (مهندس وراثيا).

ويوضحُ (شكل ٧) طريقـةَ حقنِ الجينِ داخلِ البويضَـةِ المخصبَةِ، حيثُ تثبتُ البويضةُ باستخدام مَاصَّةِ شفْطٍ مِنْ جانبٍ (فى أسْفلِ الصُّورة) وتحقنُ بماصَّةِ حقْنٍ من الجانبِ الآخرِ (فى أعلا الصورة).

ويوضحُ (شكل ٨) نتائج تجربةٍ أجْرَيت لنقلِ جينٍ إلى الفأْر. وكما نَرَى هُنَا فإنَّ الفأرَ إلى اليمينِ هو الفأرُ العَادِى الذِى لم تعدَّل جيناتُه، أما الفأرُ إلى اليسار فقدْ نتجَ عن تقنيةِ الهندسةِ الوراثيةِ، وذلك بنقل جينِ هرمونِ النمـوِّ إليْهِ. ويتضحُ مِنَ الصُّورَةِ أنَّ نقلَ الجينِ أدَّى إلى نموٍّ متزايدٍ فى وزنِ الحيـوانِ مـع العلـمِ بـأنَّ الفأرَيْن لهما نفسُ العمْرِ ويتناولاَنِ الطعامَ نفسَه.



(شكل ٨) الفأر إلى اليسار معدل الجينات عن طريق جين النمو الذى جعل الفأر أكبر وزنا من الفأر العادى (يمين الصورة).

وقدْ عملتْ إحَدى الشركاتِ على إنتاجِ دجاجٍ يحملُ جينَ النموِّ الخاصِّ بالأبقَار، كما استطاعَ العلماءُ نقلَ الجيناتِ المحفِّزةِ للنمو إلى أسماكٍ معينةٍ باستخدَامِ نبضاتٍ كهربيَّةٍ. وقد أدَّى الجينُ المنقولُ إلى زيادةِ أوزَانِ الأسْماكِ المعدَّلةِ.

جيناتٌ تضمنُ إنتاجَ الحيواناتِ لمركباتٍ كيميائيةٍ يحتاجُهَا الإنسَانُ:

ومِنْ ناحيةٍ أخرَى يهدفُ العلماءُ إلى استخدامِ الهندسةِ الوراثيةِ لإنتاجِ مركباتٍ معينَةٍ، وذلِكَ بنقْلِ الجينِ المسئُولِ عَنْهَا إلى إحْدَى الحيواناتِ الثدييَّةِ كالأغنامِ والأبقارِ بحيثُ ينتجُ المركبُ المطلوبُ مَعَ ألبانِ هَذِهِ الحيواناتِ، ثم يتمُّ اسْتخلاَصهُ مِنَ اللبنِ بعْدَ ذلِكَ. وقَدْ تَمَّ بالفعْلِ إنتاجُ بعضِ الموادِّ الكيمائيةِ مَعَ ألبانِ الأغْنَامِ والأبقَارِ باستخدامِ الهندسةِ الوراثيَّةِ، وبهذَا الأسْلوبِ الفريدِ يمكنُ القَوْلُ أنَّه تمَّ تسْخِيرُ هَذِهِ الحيواناتِ كمصَانِعَ!! ويتمُّ اللجوءُ إلىَ هَذَا الأسلوبِ عندمَا تكونُ الموادُّ المطلوبُ إنتَاجها يصعبُ الحصولُ عليهَا بالطرقِ العاديَّةِ فى المعامِلِ، أو أنَّهَا تكلفُ كثيرًا من الأموالِ لو حُضِرَتْ بهذِهِ الطرقِ، وعلى ذلِكَ فإنَّ إنتَاجَهَا باستخدامِ الهندسةِ الوراثيةِ يعتبرُ إنجازًا قَيِّمًا. **وفيما يلى أمثلةٌ لتطبيقَاتِ الهندسة الوراثيةِ التى سَعَى إليهَا العلماءُ:**

١ - لقدْ تلازمَ استنسْاخُ النعجةَ (دوللى) - الذى أعلِنَ فى عام ١٩٩٧ - مَعَ الرغبةِ فى الحصولِ على أغنامٍ معدَّلةِ الجيناتِ تعطى عقارًا مُعينًا يصلحُ علاجًا لمرضٍ يصيبُ البنكرياسَ والرئاتِ فى الإنسانِ.

٢ - تمكنَ العلماءُ فى عام ١٩٨٩ من حقنِ جينِ الهيموجلُوبين البشرى فى البويضَةِ المخصَّبَةِ (الزيجوت) للفئرانِ ممَّا جعلَ الفئرانَ معدلةَ الجيناتِ تقومُ بتخليقِ هيموجلوبين بشرى.

٣ - تم إنتاج أنثى خنزيرٍ معدَّلةِ الجيناتِ لتدرَّ لبنًا يَحْتوِى على مركَّبٍ بروتينى ضرُورى لتجلُّطِ الدَّمِ.

٤ - تمكن بعضُ العلماءِ من الحصولِ على ثلاثةٍ من الماعزِ تدرُّ مادَّةً بشريةً مضادَّةً لتجلُّطِ الدمِ ولازِمَة لجراحَاتِ مرْضَى القلْبِ.

٥ - تعملُ إحدَى الشركاتِ المتخصصَةِ على إنتَاج ماعزٍ معدَّلِ الجيناتِ ينتجُ خيوطًا حريريَّةً - تتميزُ بالقوةِ وبأنها تتحللُ تلقائيًا - لتستعملَ كخيوطٍ جراحيَّةٍ.

٦ - يعملُ بعضُ العلماءِ على تعديلِ جيناتِ الحيواناتِ لتنتجَ لقاحَاتٍ ضدَّ الأمراضِ. مثالُ ذلكَ ما قامَ به بعضُ العلماءِ مِنْ إنتاجِ أبقار معدلةِ الجيناتِ تحتوى ألبانُهَا على لقاحٍ ضدَّ مَرَضِ الكبدِ الوَبَائى طراز (ب).

٧ - تمكن العلماءُ من الحصولِ على ماعز وفئران تحتوى ألبانُها على بُرُوتينَ يعملُ على الاستحثاثِ المناعى ضد طفيلى الملاريا مما يمنعُ الإصابةَ بالمرض. وتجرى الآنَ تجربةَ هذَا اللبن على القردةِ تمهيدًا لتجربتِهِ على البشرِ. ومِنَ المعروفِ أنَّ طفيْلى الملاَريا يصيبُ ٥٠٠ مليون شخصٍ سنويا، ويودى بحياةِ ٣ ملايين شخصٍ كل عام.

وفى تقنيةٍ أخرى قام العلماءُ بتعديلِ جيناتِ الحيواناتِ المنويةِ ثم حقنِ هذه الحيواناتِ المنويةِ المعدلةِ إلى داخلِ ستيوبلازم البويضَاتِ، وبهذا ينتجُ لدينَا كائناتٌ معدلةُ الجيناتِ.

نقلُ جينِ الوميضِ:

تتميزُ بعضُ أنواعِ البكتيريا والفطْرياتِ والحشَراتِ والكائناتِ البحريةِ بأنَّ أجسامَهَا تنتجُ وميضًا باردًا، وذلك بفضْلِ امتلاكِهَا لجينٍ يعملُ على إنتاجِ مادةٍ تُعْطِى هذا الوميضَ. وَقَدْ نجح العلماءُ فى بعضِ التجاربِ فى نقلِ هذَا الجينِ إلى ذبابةِ الفاكهَةِ، وإلى إحدَى الأسماكِ المخطَّطَةِ، فاكتسب كُلٌّ منها صفة الوميض. كما نقلُوا هذَا الجينَ من حيوانِ قنديلِ البحرِ إلى الفئرانِ، وكانت النتيجةُ أنْ أعطَت الفئرانُ وميضًا أخْضَرَ. كما نَقلَ العلماءُ جينَ الوميض مِن

حيوان قنديلِ البحرِ إلى القرودِ، وفي أكتوبر عام ٢٠٠٠ ولِدَ هذا القردُ المعدلُ وأعْطِيَ الاسمُ (آندى) (ANDi) (شكل ٩).



(شكل ٩) القرد (آندى) (ANDi) أضيف إليه جين التوهج من حيوان قنديل البحر.

هل الاستنسَاخُ يعتبرُ هندسَة وراثيَّة؟

لا يعتبرُ الاستنساخُ هندسَة وراثية، لأنه لا يهدِفُ إلى تعديلِ أيةِ صفةٍ من صفاتِ الكائنِ الحيِّ، فالهدفُ مِنَ الاستنساخِ هوَ الحصولُ على أفرادٍ يشبهُونَ فردًا آخرَ تمامَ الشبَهِ.

هَلْ يمكنُ اقترانُ تقنيةِ الهندسةِ الوراثيةِ مَعَ تقنيةِ الاستنساخِ؟

نعم يمكنُ! بلْ إنَّ العلماءَ يهدفونَ إلى ذلِكَ! فأنتَ يمكنكَ إدخالُ صفةٍ جديدةٍ إلى أحد الحيواناتِ عن طريقِ الهندسةِ الوراثيةِ، ثم يمكنكَ الحصولُ على نسخٍ كثيرةٍ مِنْ هَذَا الحيوانَ المعدلَ وراثيًا عنْ طريقِ تقنيةِ الاستنساخِ.

العلاج بالجينات :

يأمُلُ العلماءُ استخدام الهندسَةِ الوراثيةِ فى نقـلِ جيناتٍ إلى الإنسانِ بـهدفِ علاَجِ المرضَى من أمراضٍ معينةٍ. ويعـرفُ هـذَا الاتجاهُ باسمِ (العلاج بالجينــاتِ). إلاَّ أن العلمــاء لم يسيطِرُوا بعدُ علـى هـذِهِ التقــنيةِ. ومِنَ المشــاكِلِ المثارةِ فـى هذَا الاتجاهِ أنَّ الجينَ المنقولَ إلى الإنسانِ يتـم تحميله غالبًا على فيروساتٍ قد تكونَ هى نفسُهَا ممرضةً للإنســانِ، كما أن الجـينَ المنقولَ قـدْ يلتحمُ مع المادةِ الوراثيةِ للمريضِ فى موقعٍ غيرِ مناسبٍ مما يشكّلُ خطُورة عليه.

الهندسَةُ الورَاثيَّةُ ونقْل الأعضَاءِ :

وفِى اتجاهٍ آخر يسعى العلماءُ إلى نقْلِ بعض الأعضـاء من أجسام الحيوانَاتِ مثل القلبِ إلى الإنسَان كبديلٍ للأعْضاءِ المريضَةِ خاصَّةً معَ وجُــودِ نُـدْرَة فـى الأعضاءِ البشـريَّةِ البديلَةِ التى يمكـنُ توفيرهَا. وقدْ وَجَدَ العلمَاءُ أنَّ الخـنزيرَ هـو أنسبُ الحيوَانات التى يمكنُ اسـتخدَامهَا لهَذَا الغرَض، إلاَّ أنَّ الأمرَ يحتـاجُ مسبقًا إلى تعديلٍ معيَّـنٍ لجينَاتِ الخـنزيرِ قبْلَ نقلِ أعضائِـهِ إلى الإنسَـانِ وَإلاَّ فإنَّ هنـاكَ احتمالا لإصابَةِ الإنسَانِ بالضَّرر. وهكـذَا فإنَّ الهندسَـة الوراثيَّـة ستسَاعِدُ على حَـلِّ مُشْكلةِ نقلِ الأعضَـاءِ، وبذلـكَ فإنـهَا تقدمُ الأمَلَ لآلافِ المرضَـى الذيـنَ يحتـاجُـون إلى أعضاءٍ بديلَـةٍ. وبالطبْعِ فإنَّ استنسَـاخَ الخـنزيرِ المعدَّلِ سيسَـاعدُ عَلَـى توفـير أعدَادٍ كبيرةٍ مِنَ الخنَازيرِ المعدَّةِ لهذَا الغرضِ. وَقدْ أعلِـنَ فـى مـارس ٢٠٠٠ نجـاحُ العلماءِ لأوَّل مرَّة فى استنْسَاخِ الخنازيرِ.

الهندسَةُ الورَاثيَّة تكسِرُ حاجزَ النوعِ :

لقد فتحت الهندسـةُ الوراثيَّةُ عصْرًا جديـدًا فـى نقْلِ الصفَاتِ مِنْ جيلٍ إلى جيلٍ، فَطَالما اعتمدَ الإنسَانُ فـى تحسِينِ نسْـلِ حيوانَـاتِ المزرعَـةِ - كالأبقَـار والأغنَام - على تزاوُج أفرَادٍ ذوى صفاتٍ جيدَةٍ - ولكنَّهُم يتبعُونَ النوع نفسَه - مع بعضهِم البعْضِ، حيثُ إنَّه لا يمكـنُ عـادةً إجـراءِ تـزاوُج بـينَ أنـواعٍ مختلفَـةٍ مِـنَ

الحيوانَاتِ. أمَّا الهندسَةُ الوراثيَّةُ فقد مكنَت الإنسَانَ لأوَّلِ مرَّةٍ مِنْ نقلِ صفاتٍ بينَ الأنواعِ المختلفةِ المتباعِدَةِ تمامَ التباعدِ فـي خصائِصِهَا، فلم يعُدْ اختلافُ النوعِ حاجزًا يمنعُ نقلَ الصفَاتِ.

الهندسَةُ الوراثية وزيادةُ القدرَةِ عَلَى التعلُّمِ :

أعلنَ العلماءُ فى الفترةِ الأخيرةِ أنهمْ تمكنُوا مِنَ الحصُولِ على فـئرانٍ معدَّلَةِ الجينَاتِ أسْموهَا (دوجـى) Doogie تتميزُ بأنهَا أكْثرُ قدرَةً عَلى التعلُّـمِ، كمـا أنَّـهَا أصْبحت تمتلِكُ ذاكرةً قَويَّةً.

والسؤالُ هو: هـلْ سيتمُّ تطبيـقَ هَذَا الأسلُوبَ على الإنسَانِ بِمَا يسهِّلُ أمْرَ الاستِذْكار على التلاَمِيذِ؟

فمَا هوَ رأيكَ لوْ جَاءَ اليومُ الذِى يسْتطيعُ فيه التلميذُ قضاءَ عَشْرِ دقائِقَ فقطْ كُلَّ يومٍ فِى استذكَار جميعِ الموادِّ الدراسيَّةِ مِنَ اللغةِ العربيةِ إلى اللغةِ الإنجليزيَّـةِ إلى العلومِ والتاريخِ وغيرِ ذَلِكَ، وحققَ بهذِهِ الدقَائق العَشْرِ الدرجَاتِ النهائيَّةِ فـى الامتحانَاتِ؟

أظنُّ أنكَ ستقُولُ :

مرْحَبًا بِالهندسَةِ الورَاثِيَّةِ!!!

المراجع العربية :

١ – الهندسة الوراثية - تأليف ويليام بينز - ترجمة دكتور أحمد مستجير - الهيئة المصرية العامة للكتاب.

٢ – الاستنساخ - القصة كاملة - تأليف الدكتور منير على الجنزورى.
العدد ٩٢٩ من سلسلة (اقرأ) - دار المعارف.

٣ – الاستنساخ – تأليف دكتور منير على الجنزورى - العدد (١٠) من سلسلة حكايات علمية - دار المعارف.

٤ – نحن والعلوم البيولوجية فى مطلع القرن الحادى والعشرين - تأليف دكتور منير على الجنزورى - دار المعارف.

المراجع الأجنبية:

1-Alberts, B. *et al* (1998):
Esential Cell Biology
New York & London
Garland Publishing, Inc

2-Cooper, G.M. (1997):
The Cell
Washington, D.C. – ASM Press
Massachusetts – Sinauer Associates, Inc

3-Nicholl, D.S. (1996):
An Introduction to Genetic Engineering
Cambridge University Press

4-Williams J. G. and Patient R. K. (1989)
Genetic Engineering
Oxford – Washington D. C.
IRL Press.